

ANYAGOK DIELEKTROMOS TULAJDONSÁGAI ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREIK

Göllei Attila

Pannon Egyetem, Műszaki Informatikai Kar, Villamosmérnöki és Információs Rendszerek Tanszék,
8200 Veszprém, Egyetem u. 10.
gollei.attila@virt.uni-pannon.hu

ABSTRACT

In this paper an apparatus (microwave dielectrometer) and method suitable to measure the dielectric constant (ϵ') and loss factor (ϵ'') of well conducting ionic liquids and other solvents are demonstrated, namely a simple apparatus and method (completed and modified the known wave-guide system. The developed measuring system can be applied for automatic and online measurements. To reach the required accuracy a precise sample holder design was performed, and the measurements were carried out under similar conditions (microwave power, temperature, etc.) like they are generally used in the microwave practice. An automatic method was elaborated for calibration of the signals coming from the diode detectors. Differently from the conventional measuring methods which have used only mW powers. Author's measurements were performed using about 20W/g. The author would like to introduce application methods in the different cases like measurements of ionic liquids, drying of impregnated activated carbon and precooking of rice.

The conclusion is that the microwave treatment helps to dry carbon and shortens precooking time of rice. The microwave preliminary experiments are proving that the treatment is safe, during these processes there is no sudden temperature rising and overheating risk.

1. BEVEZETÉS

A különböző anyagok mikrohullámú kezelése és a mikrohullámú melegítés, szárítás ipari alkalmazási lehetőségei iránt az elmúlt néhány évtizedben növekvő érdeklődés mutatkozott. A régebben használt technológiával szemben, az anyagok mikrohullámú kezelésének új lehetőségei és előnyei már bizonyítottak. Ezért fontos a kezelendő anyagok mikrohullámú tulajdonságainak minél pontosabb ismerete. A mikrohullámú alkalmazások ipari méretű tervezéséhez elengedhetetlen feltétel, a kezelt anyagok dielektromos állandójának ismerete. Az anyagok dielektromos jellemzői különböző tényezők hatására változhatnak. Ezek a tényezők az elektromos mező frekvenciája, a hőmérséklet, a sűrűség, az anyag mikroszerkezete, az elektromos és termikus vezetőképesség, a fajhő. Munkámban célul tűztem ki, hogy az anyagok mikrohullámú viselkedésének tanulmányozása céljából elkészítsek egy modellt, mely figyelembe veszi a mikrohullámú besugárzás hatására az anyagban végbemenő, elsősorban hőmérsékleti és dielektromos tulajdonságok megváltozását. A hőmérsékletváltozás hatására létrejövő más anyagi paraméterek megváltozása visszahat az anyag és a mikrohullámú tér kölcsönhatásaira. Amennyiben ezeket az összefüggéseket egy zárt hatásláncú folyamatként fogjuk fel, lehetőség nyílik a mikrohullámú kezelés során nyomon követni az anyag és a kezelőtér számos paraméterének megváltozását.

Az így szerzett tapasztalatok alapján, a modellt a gyakorlatba is átültetve elkészült egy mikrohullámú tápvonal, melyben lehetőség nyílik a behelyezett minták mikrohullámú besugárzására



The project is co-financed by the
European Union

Good neighbours
creating
common future 

és a tér jellemzőinek mérésére. A tápvonal lezárásaként alkalmazott változtatható pozíciójú rövidzár segítségével a mikrohullámú energia tengely irányú eloszlása változtatható. A mérési célokra általánosan alkalmazott hálózat analízátorok helyett kifejlesztettem egy költséghatékonyabb, mikroprocesszorral vezérelt automatikus hangoló rendszert és számítógépes adatgyűjtő rendszert, mely lehetővé teszi az anyagok dielektromos tulajdonságainak folyamatos mérését a hőmérsékletváltozás függvényében. A berendezés kalibrálásához számos, ismert dielektromos tulajdonságú anyagot felhasználtam. Az utóbbi években az ionos folyadékok alkalmazása iránt világszerte megnövekedett az érdeklődés elsősorban a kémiai és elektrokémiai kutatások területén. A módosított mérési elvnek köszönhetően a mikrohullámú dielektrométer alkalmas ezen ionos folyadékok dielektromos tulajdonságainak vizsgálatára is. Az irodalomban található, elsősorban extrapolációs eljárásokkal meghatározott értékekkel összevetve saját mérési eredményeimet, minimális eltérést tapasztaltam.

2. IONOS FOLYADÉKOK VIZSGÁLATA

Az ionos folyadékok az 1990 években új alkalmazási lehetőséget jelentettek a kémia különböző területein különösen a zöld kémiai területén. Ezek vegyületek elsődlegesen, mint környezetbarát oldószerek kerülnek kutatásra és alkalmazásra a szerves kémiai, a fémorganikus katalízis, az elektrokémia, a biokémia és az elválasztási műveletek területén. A széleskörű alkalmazás a vegyületek különleges fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönhető, amelyek közül kiemelendő az elhanyagolható gőznyomás, a nagy termikus és kémia stabilitás, valamint a relatíve magas elektromos vezetőképesség, valamint az eddigi tapasztalatok szerinti kedvező toxikológiai tulajdonság. További különös előnye ezeknek a vegyületeknek, hogy a szerves kation és a szervetlen vagy szerves anion széleskörű változtatásával változatos tulajdonságú, az adott alkalmazási feltételeknek legjobban megfelelő ionos folyadékok hozhatók létre.

Az elmúlt néhány évben egyre növekszik azoknak a közleményeknek a száma amelyek az ionos folyadékok használatát kiterjesztik a mikrohullámú kémia területére is. Az ionos folyadékok szerkezetükből adódóan – elsődlegesen jelentős elektromos vezetőképességük miatt – a mikrohullámú tér energiáját jó hatásokkal alakítják át hőenergiává, viszonylag kis energiával, gyorsan magas hőmérsékletre, 100-250 °C-ra melegíthetők, anélkül hogy bomlanának, vagy párolognának. A megjelent közlemények (több mint 120) az alkalmazások széles körét fogja át, kiemelkedők a nanoméretű fém és fémoxidok előállítás, valamint a szerves kémiai alkalmazások.

Az ionos folyadékok alkalmazása a mikrohullámú kémia területén mind kísérlettervezési, mind pedig biztonságtechnikai szempontból fontossá teszi az ionos folyadékok mikrohullámú tulajdonságait jellemző dielektromos állandó (ϵ'), és dielektromos veszteség (ϵ'') ismeretét. Az ionos folyadékok ϵ' értékének meghatározására több módszer is ismert [1-3], az ϵ'' meghatározására nem találtunk irodalmi adatot.

Munkánk célja egyrészt mérési módszer kidolgozása volt az ionos folyadékok dielektromos jellemzőinek mérésére 2,45 GHz frekvencián, különböző hőmérsékleteken, másrészt információ



The project is co-financed by the
European Union



nyerése céljából arra vonatkozóan, hogy a mért dielektromos állandók milyen összefüggésbe hozhatók egy új ionos folyadék család kémia szerkezetével és melegedési tulajdonságaival.

2.1. Ionos folyadékok hőmérsékletemelkedésének vizsgálata

Az ionos folyadékok hőmérséklet emelkedésének sebességét a mikrohullámú kémiában ismert CEM Discover készülékben végeztük. A készüléknek henger alakú kezelőtere van, ahol henger palástján lévő réseken jut be mikrohullámú energia. Ez a speciális megoldás biztosítja a mikrohullámú tér kiváló homogenitását. A hőmérséklet mérés a kezelőtér alján elhelyezett infravörös hőmérő rendszerrel történik. A vizsgált minták mennyisége 0.5g volt, amit henger alakú 12.5mm belső átmérőjű boroszilikát üvegből készült mérőedénybe helyeztünk el.

Az ionos folyadékok dielektromos tulajdonságainak (ϵ') és (ϵ'') vizsgálatakor számos fontos szempontot kellett figyelembe venni, amelyek eltérnek a hagyományos mérési eljárásoktól. Az elsődleges ilyen szempont az, hogy az ionos folyadékok önmagukban is viszonylag jó villamos vezetők. Ezért a klasszikus mérési módszerek, mint például kondenzátor dielektrikumként való vizsgálatuk nem alkalmazhatók. Olyan mérési módszert kellett választani, amely figyelembe veszi ezen anyagok speciális tulajdonságait. További problémát jelentett, hogy a mikrohullámú energia hatására ezek az anyagok jelentősen felmelegsznek, ezért a mérések során kerülni kellett a mintaanyagok túlmelegedését.

A dielektromos tulajdonságok vizsgálatára egy a Műszaki Kémiai Kutató Intézetben kifejlesztett mikrohullámú dielektrométer készüléket használtunk. A mérések megkezdése előtt próbaméréseket végeztünk, hogy közelítőleg meghatározzuk a minták dielektromos tulajdonságait, majd ennek megfelelően választhassuk ki az alkalmas mintatartó méretet és a melegítési sebességet.

A mikrohullámú terekben lejátszódó kezeléseket és kémiai reakciók vizsgálatát többnyire 2,45 GHz frekvencián végzik, ezért az ionos folyadékok dielektromos tulajdonságait is célszerűen ezen a frekvencián vizsgáltuk néhány 10 W mikrohullámú teljesítmény mellett. A tápvonalban kialakuló energiaviszonyokat 4 db diódás detektorral mértük. A detektorok jeleit kiértékelve adott összefüggések alapján a minta dielektromos állandója számítható.

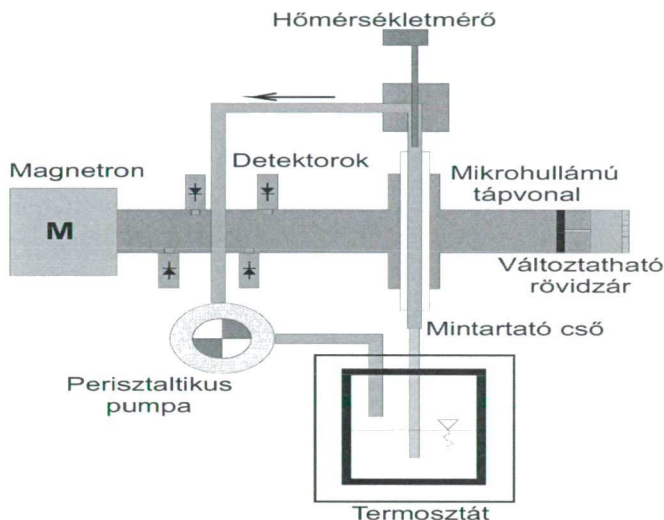
A vizsgált mintát átáramoltatjuk a mikrohullámú tápvonalon, egy erre a célra kialakított mintatartó egységen keresztül. A mérés során a mikrohullámú energia hatására felmelegszik a mintatartón átáramló anyag. Az áramoltatásra a minta túlmelegedésének elkerülése miatt volt szükség. más ok, hogy a mikrohullámú térben nem állt rendelkezésre megfelelő hőmérsékletmérési eszköz, ezért a térből közvetlenül kilépő minta hőmérsékletét hagyományos módon mértük meg, majd ezt a jelet vittük a feldolgozó számítógépre. A minta áramoltatásához perisztaltikus pumpát használtunk, hogy a rendelkezésre álló viszonylag kis mennyiségű mintákat hatékonyan, és megfelelő sebességgel tudjuk a mikrohullámú térben keringetni. A mikrohullámú melegítésen kívül szükségesnek bizonyult a mintaanyag termosztálása is, az áramoltatás folyamán fellépő hőveszteség pótlására. A mérés során a dielektromos állandó folyamatosan változik, a minta hőmérséklet változásának megfelelően. Minden időpillanatban, miközben a minta hőmérséklete, - és ezzel dielektromos tulajdonságai is folyamatosan változnak, a mikrohullámú térben is változik a kialakuló elektromágneses erővonalkép. Egy megfelelő szabályozóegységgel a rövidzár helyzetének változtatásával minden



The project is co-financed by the
European Union

Good neighbours
creating
common future 

időpillanatban fázisazonosságot állítunk be, így a rövidzár pozíció (x) és a detektorok jelének mérése alapján a hőmérséklettel változó dielektromos állandó folyamatosan mérhetővé válik.



1. ábra. Mérési elrendezés ionos folyadékok vizsgálatára

A mérések elvégzéséhez próbamérésekkel határoztuk meg az optimális energiát, mely 40W-nak adódott. A mikrohullámú dielektromos állandó méréseire szolgáló készülék alapja egy körülbelül 3λ hosszúságú négyszög keresztmetszetű csőtápvonal, melyen meghatározott helyeken diódás detektorok vannak elhelyezve. Ezekről megfelelő távolságban található a mérendő dielektrikumot tartalmazó mintatartó egység. A tápvezeték végén található a lezárás, melynek pozíciója egytized-milliméter beosztású skálával ellátott forgató mechanizmussal állítható. A behelyezett dielektrikum által okozott elhangolódás és csillapítás mértékét, amelyből a minta dielektromos jellemzői az alábbi összefüggések alapján számíthatók [4]:

$$\varepsilon' = 1 + \frac{a\lambda^2}{\lambda_T \pi^2 d^2} \operatorname{tg}(\beta * \Delta x) \quad (1)$$

$$\text{ahol: } \beta = \frac{2\pi}{\lambda_T}, \quad \Delta x = x_1 - x_0$$

$$\varepsilon'' = \frac{a\lambda^2}{\lambda_T \pi^2 d^2} * \frac{1}{r} \quad \text{ahol: } \frac{1}{r} = \sqrt{\frac{U_1}{U_3}}, (2)$$



The project is co-financed by the European Union

Good neighbours
creating
common future

ahol λ , és λ_T a hullámhossz vákuumban, ill. a hullámvezetőben, a a hullámvezető nagyobb mérete, d a mintatartó belső átmérője, U_1/U_2 az ún. állóhullám arány A dielektrométerrel kapott mérési eredményeinket összevetettük az irodalmi adatokkal [1,6]. Az eltérések azzal magyarázhatók, hogy az irodalmi adatok statikus térre vonatkozó értékek, vagy adott frekvenciára extrapolációval számítottak. A 2,45 GHz frekvencián mért értékek túlnyomórészt kisebbek a statikus értékeknél és mivel nem számított értékek a szórás is nagyobb.

1. táblázat. Néhány ionos folyadék minta dielektromos állandója

Vegyület neve	Irodalmi adat	Mért érték (2,45GHz,25°C)
EMIM-TF	15,2±0,3	12,2±0,9
BMIM-TF	13,2±0,3	12,9±0,9
BMIM-BF4	11,7±0,6	8,7±0,8
BMIM-PF6	11,4±0,6	5,6±0,7
HMIM-PF6	8,9±0,9	7,5±0,8

2.2. Ionos folyadékokkal végzett mérések eredményei

A mikrohullámú anyagkezelés során a mikrohullámú energia kölcsönhatásba lép a kezelendő anyaggal, és az anyag a rá jellemző dielektromos tulajdonságaiból adódóan az elektromos energiát hőenergiává alakítja át. Ennek az átalakítási folyamatnak makroszkópikusan észlelhető, mérhető megjelenése a kezelt anyag hőmérsékletének növekedése. A hőmérsékletnövekedés sebessége a mikrohullámú teret,- és a kezelt anyagot jellemző tulajdonságoktól függ, amelyet a következő egyenlet ír le:

$$\Delta T/\Delta t = P_v/\rho C_p = jE^2 \epsilon''/\rho C_p \quad (3)$$

A képletben a ΔT a minta hőmérsékletének növekedése (K°), Δt az idő (s), P_v az az anyag egységnyi térfogatában elnyelődött mikrohullámú teljesítmény (W/m^3), ρ az anyag sűrűsége (kg/m^3), C_p az anyag fajhője ($J/kg K^\circ$), j állandó, E az anyagban kialakuló elektromos térerő (V/m), f a frekvencia (Hz), ϵ'' dielektromos veszteség. [5]

A képletből látható, hogy kezelt anyag hőmérséklete több tényező együttes hatására alakul ki, ezek hatásának külön-külön történő vizsgálata nem könnyű feladat, mert a ρ , C_p ϵ'' jellemzők önmagukban is hőmérséklet függők. Az E térerő értékének anyagon belüli pontos mérése nehéz feladat. Egyszerűbbé válik a helyzet, ha szigorúan csak egy vegyület család homogén sorát vizsgáljuk, mivel itt bizonyos egyszerűsítések megengedhetők.

A vizsgált ionos folyadékok ilyen szigorúan vett homogén sornak tekinthetők, mivel az imidazolium kation 1 és 3 helyzetében történő változtatások (R csoport változása metil. etil, propil, butil.) nem érintik a kation szimmetria viszonyait – így polarizációs viszonyait sem, növelik azonban az ion térkitöltését és a tömegét.. Ez utóbbi kettő kis mértékben befolyásolja, – csökkenti a sűrűséget, ezzel szemben nagyobb mértékben befolyásolja a vezetőképességet és a viszkozitást, ami az ϵ'' értékét



The project is co-financed by the
European Union

Good neighbours
creating
common future

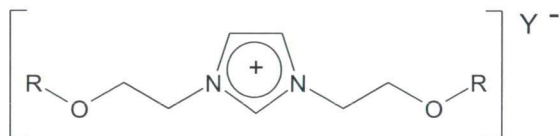


módosíthatja. Ha feltételezzük, hogy a homológ soron belül a ρ és a C_p a hőmérséklet növelésével jelentősen nem változik akkor, akkor a ρC_p szorzatot közel állandónak tekinthetjük, így a hőmérséklet emelkedés sebességét a E és ϵ'' határozza meg.

További egyszerűsítés tehető, ha monomodú készülékben, azonos mennyiségű és alakú mintát állandó mikrohullámú energiaközlés mellett vizsgálunk. Ekkor az E értékét ϵ' határozza meg. Amennyiben az ϵ' a homológ sorban a hőmérséklettel sokkal kevésbé változik mint az ϵ'' , ekkor a hőmérséklet emelkedés sebességét alapvetően ϵ'' értéke határozza meg.

A következő általánosított szerkezeti képlettel rendelkező új típusú ionos folyadékok hőmérséklet emelkedését vizsgáltuk (2. Táblázat):

2. táblázat. A mérések során használt vegyületek felépítése



Vegyület neve	R	Y
1	CH ₃	BF ₄
2	C ₂ H ₅	BF ₄
3	C ₃ H ₇	BF ₄
4	C ₄ H ₉	BF ₄
5	CH ₃	PF ₆
6	C ₂ H ₅	PF ₆
7	C ₃ H ₇	PF ₆
8	C ₄ H ₉	PF ₆
9	C ₂ H ₅	Cl
10	C ₂ H ₅	Br
11	C ₂ H ₅	SCN
12	C ₂ H ₅	N(CN) ₂
13	C ₂ H ₅	N(SO ₂ CF ₃) ₂

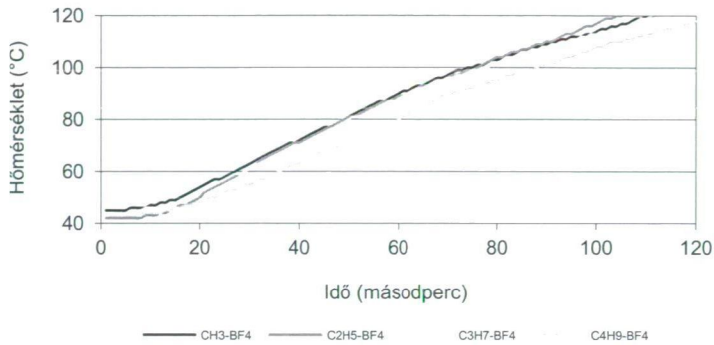
Az R csoport hatását két anion – BF₄ (1-4 vegyület) és PF₆ (5-8 vegyület) esetén vizsgáltuk 3 és 5 W mikrohullámú teljesítmény esetén. Az eredmények azt mutatják, hogy az R csoport szénatom számának növekedésével csökken a hőmérsékletemelkedés sebessége. A mikrohullámú energia növelésével hőmérséklet emelkedési sebességek jelentősen közelítenek egymáshoz és a sorrendek esetenként változnak a hőmérséklet növekedésével, ez azonban nem jellemző. Összességében a hőmérsékletemelkedés sebessége, mind tendenciájában, mind sorrendjében követi ϵ' és ϵ'' és hőmérséklet függését, ami valószínűsíti, hogy egy szigorúan vett homológ soron belül ϵ'' határozza meg egy adott ionos folyadék melegedését (2.-4 Ábrák).



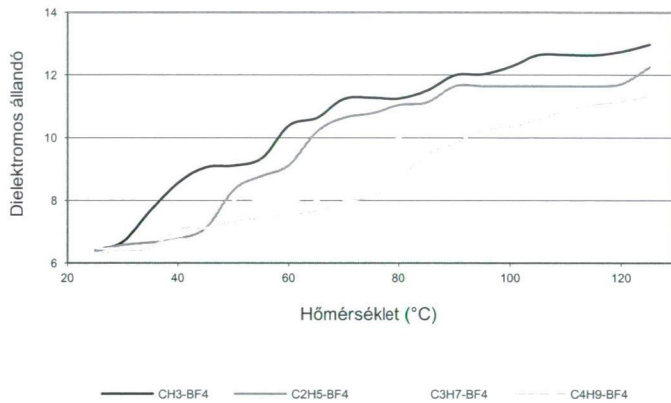
The project is co-financed by the European Union

Good neighbours
 creating
 common future

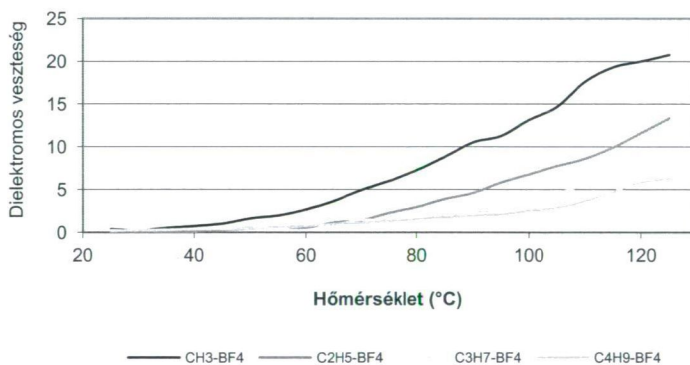




2. ábra 1,3-bisz(alkoxi-etil)-imidazoliium-tetrafluoro-borátok melegedési sebessége 3 W -on



3. ábra. 1,3-bisz(alkoxi-etil)-imidazoliium-tetrafluoro-borátok dielektromos állandóinak hőmérséklet függése

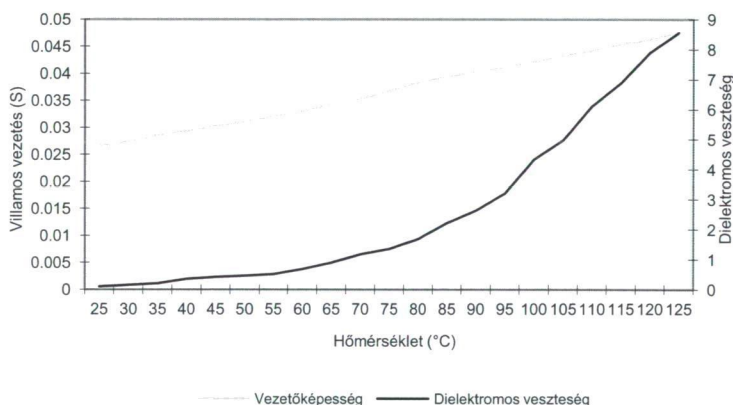


4. ábra. 1,3-bisz(alkoxi-etil)-imidazoliium-tetrafluoro-borátok dielektromos veszteségeinek hőmérséklet függése



A szerves anionok esetén bonyolultabb a helyzet, a kisebb térkitöltésű és kevesebb centrumot tartalmazó ionok esetén - SCN, N(CN)₂ – gyorsabb a melegedés, de megnövelve a mikrohullámú teljesítményt, ez már nem igaz, a (CF₃SO₂)₂N esetén meglepő módon megnő a hőmérséklet emelkedés sebessége.

Megvizsgáltuk az ionos folyadékok villamos vezetőképességét is, és azt tapasztaltuk, hogy habár nem magas a mért érték (mintegy azonos értékű a csapvíz vezetőképességével), de mégis számottevő. Hőmérsékletfüggését vizsgálva látható, hogy a hőmérséklet növekedésével jelentősen növekszik. Ezt tapasztaltuk az anyagok dielektromos veszteségét vizsgálva is. Feltételezhető tehát, hogy az ionos folyadékok hőmérséklettel növekvő dielektromos veszteségének egyik fő oka ezen anyagok hőmérséklettel növekvő vezetőképessége. Villamosan vezető anyagokban ugyanis elektromágneses tér hatására örvényáramok gerjesztődnek, tehát elektromos áram folyik az anyag belsejében. Ezen áram is melegíti az anyagot és a létrehozásához szükséges energiát az elektromágneses térből vonja el. A 5.ábrán látható, hogy míg a vezetőképesség növekedése lineáris, addig a dielektromos veszteség négyzetes jellegű emelkedést mutat. A dielektromos veszteség gyorsabb növekedéséért tehát az ionos folyadék nem mikrohullámú térben mért vezetőképességén kívül egyéb jelentős tényező is felelős.



5. ábra (C₂H₅-PF₆) 1,3-bisz(etil)-imidazolium-hexafluorofoszfát villamos vezetőképességének és dielektromos veszteségének hőmérsékletfüggése

3. IMPREGNÁLT AKTÍV SZENEK DIELEKTROMOS ÉS HŐMÉRSÉKLETEI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

A különböző típusú ipari és katonai szűrőkben a levegőben lévő gáz és gőzállapotú káros anyagok kiszűrésére aktív szén illetve megfelelően impregnált aktív szén használtnak. Az uniós csatlakozást követő egyre szigorodó környezetvédelmi előírások várhatóan megnövelik a hazai felhasználás volumenét, amely ma importból kerül beszerzésre.[8] Fontos kiemelni, hogy az impregnálásnál a mikrohullámú technológia alkalmazása teljesen új terület, amivel óriási energia-



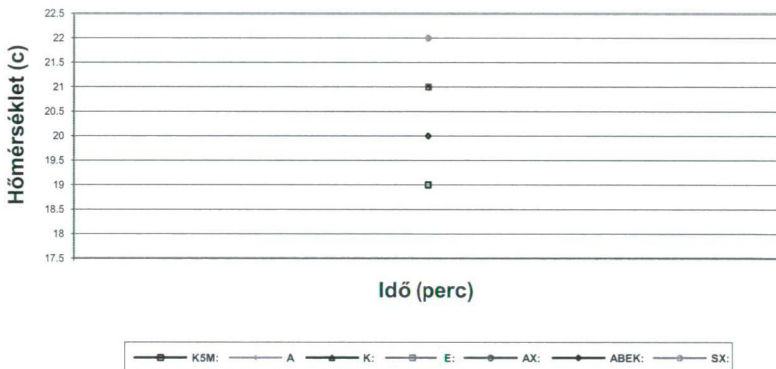
The project is co-financed by the European Union

Good neighbours
 creating
 common future

megtakarítás érhető el a termikus szárítás és utókezelés kiváltásával, ezzel jelentősen csökkentve a környezet terheltségét.

Az impregnált aktív szenek mikrohullámú szárításáról és azt követő hőkezeléséről – mikor az impregnáló anyagokban a gázállapotú káros anyagok megkötése szempontjából fontos kémiai átalakulások mennek végbe. Ezekről a folyamatokról azonban irodalmi adat nem található. Ezért első lépésként meg kellett vizsgálni az elterjedten használatos impregnált aktív szenek mikrohullámú kezelés során történő viselkedését, egyrészt a melegedési tulajdonságukat megismerése másrészt a kezelési technológia biztonsága miatt. Második lépésként képet kellett kapni arról, hogy a vizes itató fürdőből kikerülő aktív szén mikrohullámú szárítása milyen mikrohullámú kezelési paraméterek mellett valósítható meg. Így megvizsgáltuk a vizes aktív szén, milyen energia fajlagos (W/g szén) mellett, milyen időintervallumban, és milyen páraelszívási légáram sebességgel szárítható meg. Száraznak tekintettük azt a mikrohullámmal kezelt aktív szenet, amelynek víztartalma kisebb volt 2-5 %-nál. Megvizsgáltuk, hogy az itatóból kikerülő aktív szénen megkötött impregnáló anyagok hogyan befolyásolják a szárítás folyamatát, a kialakuló hőmérsékleti profilt, valamint a megmaradó víztartalmat.

**Ismert impregnált aktív szenek melegedési görbéi
30 W mikrohullámú energia esetén**



6. ábra Különböző típusú impregnált aktív szenek hőmérsékletemelkedési görbéi

Megvizsgáltuk impregnált szenek dielektromos tulajdonságait, a már előbb említett mikrohullámú dielektromos állandó mérőkészülékben. A mérések során a szén jelentős mértékben abszorbeálta a mikrohullámú energiát, ezért többször is hajlamos volt begyulladásra. Ezt nitrogén gáz átáramoltatásával küszöböltük ki. Így közel 20 féle impregnált szén dielektromos állandóját és veszteségi tényezőjét vizsgáltuk meg. Ezek az eredmények segítették a későbbiekben a mikrohullámú szárítás feltételeinek kidolgozását.



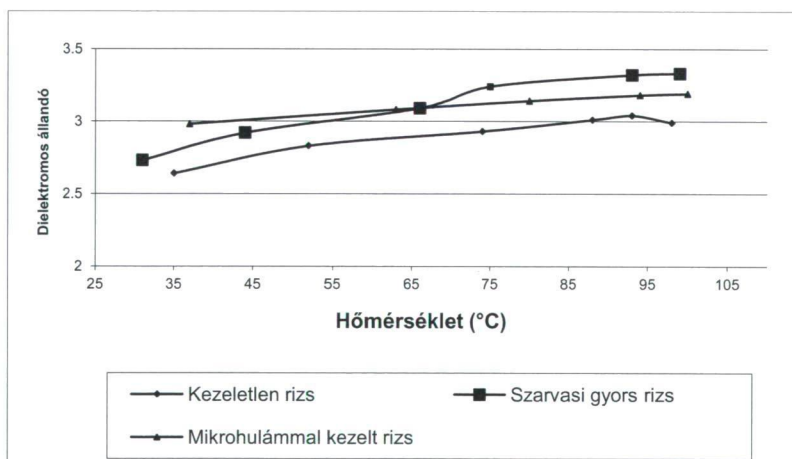
The project is co-financed by the
European Union

Good neighbours
creating
common future 

4. RIZS MIKROHULLÁMÚ DIELEKTROMOS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Az új rizstermékek minőségére vonatkozó követelménye, mint például a 10-12 perces készre főzési idő, csirizedéstől mentes, ép és szabályos formájú rizsszemek, fehér szín és kellemes íz, valamint a mikrobiológiai stabilitást, elfogadható idejű tárolhatóságot biztosító, 12-14%-os végnedvesség tartalom kielégítése számos technológiai probléma elé állította a fejlesztő kutatókat.[9] A hagyományos technológiák közös jellemzője, egyúttal hátránya is az alkalmazott hagyományos előfőzési technológiáknak, hogy a „gyors rizs” termék csak több, -jelentős víz és energiaigénnyel járó műveleti lépéssel, valamint mechanikai igénybevételen keresztül állítható elő. Európában a különböző gyors főzési idejű rizstermékek (főzési idő 10-12 perc) éves forgalma mintegy 1-1,5 millió tonna. Ezen mennyiség előállításának energiaigénye az ismertett hagyományos technológiák alkalmazása esetén hihetetlenül nagy, azaz mintegy 5 070 kWh/tonna⁶. A probléma megoldását a rizs mikrohullámú előkezelése jelentette, mely kisebb mértékű energiafelhasználása mellett, jelenősen egyszerűbb műveletigényű eljárás.

A mikrohullámú hőkezelés körülményeinek vizsgálatához értékes támpontot nyújthat a vizsgálandó rizsfélések dielektromos jellemzőinek az ismerete, ezek értékének függése a hőmérséklettől. A rizs dielektromos állandójának hőmérsékletfüggését vizsgálva megállapítást nyert, hogy a rizs mikrohullámú hőkezelése során nem várható a minőséget károsító gyors hőmérséklet megugrás. A vizsgálatok további eredménye azt bizonyította, hogy mikrohullámú hőkezelés esetén –ellentétben a hidrotermikus eljárásokkal, amelyek alkalmazásakor a rizskeményítő részleges hidrolízise megy végbe - a rizs mikroszerkezetének lazulása következik be.



7. Ábra Különböző típusú rizs termékek dielektromos tulajdonságai a hőmérséklet függvényében

A mikrohullámú dielektromos állandó hőmérsékletfüggésének vizsgálata a különböző rizsfélék esetén megalapozta egy ipari méretű előfőzési eljárás kidolgozását, mely során egyszerűbb technológiai eljárásokkal és kevesebb energiafelhasználással érhető el a kívánt végeredmény.



The project is co-financed by the
European Union



IRODALOMJEGYZÉK

1. C.Wakai, A. Oleinikova, M.OTT, H.Weingartner, J.Phys.Chem. B. 109 (36).17028-30 (2005).
2. F. Brihgt, G.A. Baker, J.Phys.Chem. B. 110 (11).5822-23 (2006).
3. C Wakai, A. Oleinikova, H.Weingartner, J.Phys.Chem. B. 110 (11).5824 (2006).
4. M Charreyre, J Thiebaut, G.Roussy, J.Phys.E:Sci.Instrum., Vol17 (1984).
5. R.F. Schiffmann, Microwave and dielectric drying, in: A.S. Mujamder(Ed), 2nd., Handbook of Industrial Drying, vol 1, Marcel Dekker, New York, 1995, pp. 345-372.
6. I. Crossing, J.M. Slattery, C. Daguene, P.J. Dyson, A. Oleinikova, H. Weingartner, J.AM.Chem.Soc.2006. 128,13427-13434
7. Gabriel, C., Gabriel, S., Grant, E., Halstead, B., Mingos, D. (1998): Dielectric parameters relevant to microwave dielectric heating. Chemical Society Reviews, 1998:27, 213-223 p.
8. Jones, D. A., Lelyveld, T. P., Mavrofidis, S. D., Kingman, S. W., Miles, N. J. (2002): Microwave heating applications in environmental engineering. Resources, Conservation and Recycling, 2002:34, 75-90 p.
9. Neyens E., Baeyens J. (2003): A review of thermal sludge pre-treatment processes to improve dewaterability. Journal of Hazardous Materials B98 51-67 p.



The project is co-financed by the
European Union

Good neighbours
creating
common future 